

启明星 1 号装置中子通量能谱与 中子平均能量计算

栗再新, 黄锦华

(核工业西南物理研究院, 四川 成都 610041)

摘要: 启明星 1 号装置是我国研究 ADS 次临界中子学的一个快热耦合系统。本文用离散坐标法的程序 TWODANT 对启明星 1 号装置能谱进行分析计算。计算结果表明, 启明星 1 号装置具有比较硬的中子能谱, 可用以进行有关 ADS 的研究。

关键词: 快热耦合系统; 中子通量能谱; 中子平均能量

中图分类号: TL411.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6931(2006)02-0168-04

Calculation of Neutron Flux Spectrum and Average Neutron Energy for Venus 1[#] Assembly

LI Zai-xin, HUANG Jin-hua

(Southwestern Institute of Physics, Chengdu 610041, China)

Abstract: Venus 1[#] assembly is a system consisting of both fast and thermal neutron zones for ADS research in China. The neutronics spectrum calculations in Venus 1[#] assembly were performed with two-dimensional transport code TWODANT. The result shows that the neutron spectra in Venus 1[#] assembly are hard enough for the ADS experiments.

Key words: fast/thermal combined system; neutron flux energy spectrum; average neutron energy

启明星 1 号装置是为进行 ADS 研究而搭建的一个实验平台^[1]。启明星 1 号装置是一快热耦合的系统, 它的快区由天然铀元件组成, 元件高 100 cm; 热区由 3% 富集度的低浓铀元件插到聚乙烯慢化剂中组成, 元件高 70 cm。源中子来自高压倍加器的(D, T)反应。启明星 1 号装置中子能谱分布对进行 ADS 实验非常重

要。本文用二维中子输运程序 TWODANT^[2]对启明星 1 号装置进行计算, 给出启明星 1 号装置中子能谱分布和中子平均能量。

1 TETB-III 混合堆基准计算比较

1993 年, 我们与苏联学者共同对 TETB-III 混合堆包层进行过中子学比对计算^[3]。计算包

括空间各处的反应率和中子能谱等。为进行启明星1号装置的能谱计算,作为比对,首先用更新过的核数据库重新对TETB-III混合堆进行计算。

用NJOY编码和几个评价核数据库制作了相应的MATXS格式群截面库,然后用TRANSX编码制作了用于ONEDANT编码的47群截面库。

以0.025 eV处的截面值作参考进行比较。制作的群截面数据,基于B-VI和CENDL的都偏低,原因待查;基于B-V和JEF的较为合理。在下面的计算中,采用基于B-V的²³⁵U数据。

新的计算结果与文献[3]中的结果的比较表明,计算的反应率及其空间分布在总体上是一致的,计算结果可信。对3个轴区的中子能谱计算也进行了比较,结果也是一致的。至此,认为可用TWO-DANT+B-V的软件包计算启明星1号装置的中子能谱及各空间点的中子(通量)平均能量。

2 计算模型图、计算程序和截面数据库

计算采用的是r-z圆柱模型。图1是计算模型图,关于r轴和z轴对称。图中给出各区材料的分布:0区为真空;1区是14.1 MeV中子源;2区为快区,装载天然金属铀;3区是热区,装载低浓铀和聚乙烯;4区为反射层,装载聚乙烯;5区是屏蔽层,装载含硼聚乙烯。

采用二维输运计算程序TWO-DANT进行中子学计算。快区、反射层和屏蔽层的非裂变

核素的输运截面库来自FENDL2.0^[4]。²³⁵U和²³⁸U截面库来自ENDF/B-V,由程序NJOY计算得到。热区的17群截面库来自程序WIMS和基于ENDF/B-VI的82群截面库^[5]得到的栅格参数^[6]。

3 计算与分析

在这里,对中子能谱进行了归一, $\Psi_i = \Phi_i / \sum_j \Phi_j$, Φ_i 是第*i*群的中子通量。按照这样的归一谱得到的中子平均能量 $\bar{E} = \sum_i E_i \Psi_i$, E_i 是第*i*群的中子平均能量。所得的中子平均能量是中子通量平均能量。在本文,如无说明,中子平均能量系指中子通量平均能量。

图2所示为有外源情况下z=0,r分别为4、15和21 cm点的能谱。这3点的中子平均能量分别为3 630、722和690 keV。可看出,快区的中子谱是非常硬的,能谱的峰值出现在350 keV附近。靠近外中子源区域的中子能谱在10 MeV附近有1个高峰值,中子的平均能量很高。随着与外源距离的增大,该峰值快速下降。

z=0,r=4 cm处的有外源和无外源的中子能谱示于图3。有源时的能谱相对于无源时的能谱发生了较大的漂移,谱趋硬。由于离外源近,有源时的能谱在10 MeV附近有很高的峰值。

z=0,r=15 cm处的有外源和无外源的中子能谱示于图4。有源时的能谱和无源时的能谱极其相似,但发生了小的漂移,谱趋硬。

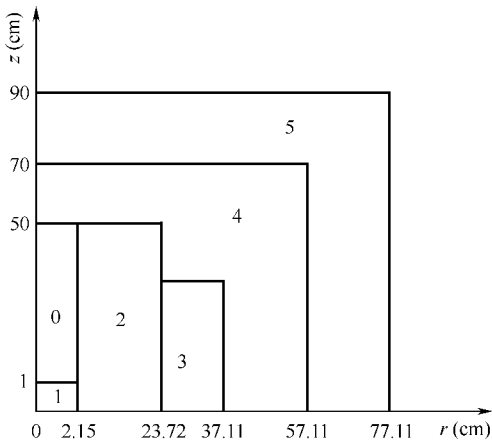


图1 启明星1号装置的计算模型图

Fig. 1 Calculation model for Venus 1# assembly

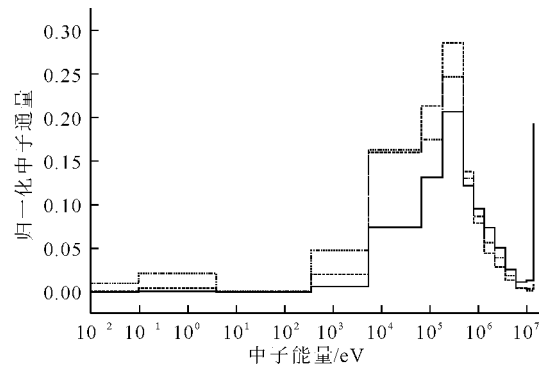


图2 快区中子通量能谱分布

Fig. 2 Neutron flux energy distributions in fast zone
实线——r=4 cm;长虚线——r=15 cm;短虚线——r=21 cm

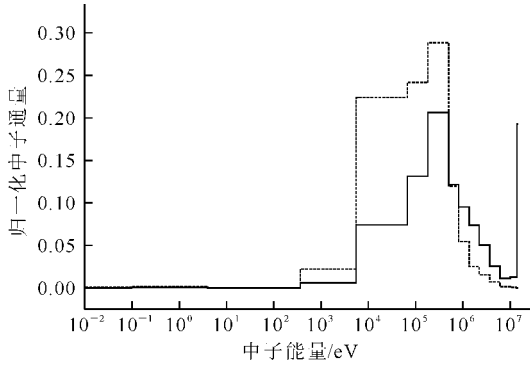


图3 $z=0, r=4$ cm 处有源和无源时
中子通量能谱分布

Fig. 3 Neutron flux energy distributions
at $z=0, r=4$ cm with and without source
实线——有源;虚线——无源

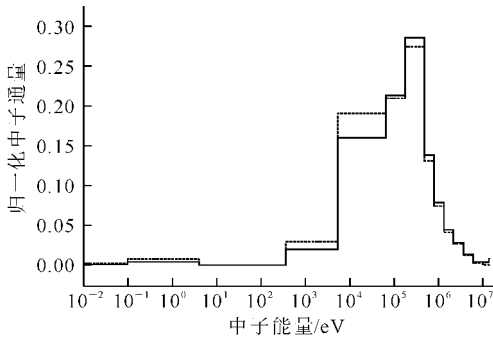


图4 $z=0, r=15$ cm 处有源和无源时
中子通量能谱分布

Fig. 4 Neutron flux energy distributions
at $z=0, r=15$ cm with and without source
实线——有源;虚线——无源

热区中子能谱计算结果示于图5。在热区,由于存在慢化剂,能谱峰值出现在热中子能区,但中子的能谱较硬。 $z=0, r$ 分别为 26、31 和 36 cm 点的中子平均能量分别为 665、716 和 734 keV。从图5可看到, $z=0, r=36$ cm 处的中子能谱在热中子区和高能区有较高的峰值。这是因为 $z=0, r=36$ cm 处靠近反射层,有一部分热中子被反射回,裂变反应相应地增加。

$z=0, r=31$ cm 处有外源和无外源的中子能谱示于图6。从图6可看出,有外源和无外源时的中子能谱变化不大,说明源中子对热区中子能谱的影响很小。

为了说明用中子通量的平均能量表示中子平均能量的合理性,以及进行用不同方法计算

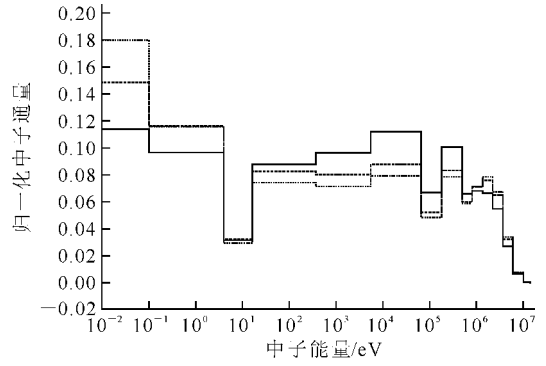


图5 热区中子通量能谱分布

Fig. 5 Neutron flux energy
distributions in thermal zone
实线—— $r=26$ cm;长虚线—— $r=31$ cm;
短虚线—— $r=36$ cm

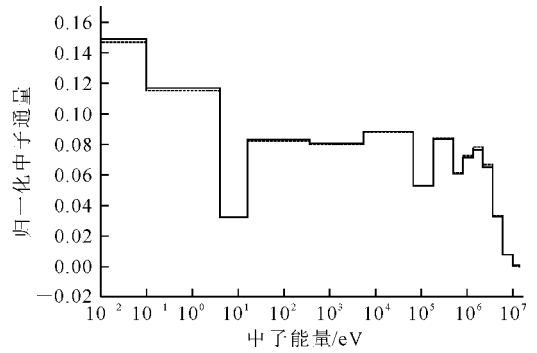


图6 $z=0, r=31$ cm 处有源和无源时
中子通量能谱分布

Fig. 6 Neutron flux energy distributions
at $z=0, r=31$ cm with and without source
实线——有源;虚线——无源

中子平均能量的比较,这里用 MCNP^[7] 程序进行计算。采用相同的计算模型,通过 MCNP 程序的 F1 和 *F1 两个记数箱给出了中子的平均能量。F1 和 *F1 的表达式如下:

$$F1 = \int_A \int_{\mu} \int_E |\mu| \Phi(r, E, \mu) A dE d\mu dA \quad (1)$$

$$*F1 = \int_A \int_{\mu} \int_E E |\mu| \Phi(r, E, \mu) A dE d\mu dA \quad (2)$$

式中: $\Phi(r, E, \mu)$ 为中子角通量; μ 为方向余弦; A 为表面面积。

F1 和 *F1 两个记数箱分别表示穿过一个界面的粒子数和粒子的能量。那么,穿过某一面积的中子平均能量可由下式得到:

$$\bar{E} = *F1/F1 \quad (3)$$

比较计算的结果列于表1。

表1 中子平均能量比较

Table 1 Comparison of neutron average energy

r/cm	\bar{E}/keV	
	MCNP ¹⁾	TWODANT ²⁾
4	4 820	3 630
15	968	722
21	656	690
26	617	655
31	683	716
36	681	734

注:1) 用 MCNP 计算,按式(3)给出的中子平均能量

2) 用 TWODANT 计算,按 $\bar{E} = \sum_i E_i \Psi_i$ 给出的中子平均能量

考虑到中子平均能量的定义、计算方法和截面库的不同,两种程序的计算结果具有可比性。说明用中子通量的平均能量表示中子平均能量是合理的。

4 结论

通过与 TETB-III 混合堆基准计算进行比较,说明选用的程序 TWODANT 和输运截面库可用来计算启明星1号装置的中子能谱和中子平均能量。通过与蒙特卡罗计算结果比较,说明用中子通量的平均能量表示中子平均能量是有意义的。

应用 TWODANT 程序对启明星1号装置的能谱进行的计算结果表明:在快区,由于受中子源的影响,与中子源距离不同,中子能谱变化很大。热区的中子能谱受源中子的影响很小。启明星1号装置的快区具有很硬的中子谱,可

进行有关 ADS 的实验研究。计算结果能够反映启明星1号装置的能谱和中子平均能量。

参考文献:

- [1] 史永谦. 启明星1号装置[R]. 北京:中国原子能科学研究院,2003.
- [2] O'DELL R D. Revised users manual for TWODANT: A code package for two-dimensional accelerated neutral particle transport[R]. New Mexico: Los Alamos National Laboratory, 1984.
- [3] MARKOVSKIJ D V, HUANG J, YOU C H. Some neutronics aspects of the Chinese Tokamak engineering test breeder TETB-III: IAE-5628/8 [R]. Moscow: Russian Research Center Kurchatov Institute, 1993.
- [4] WIENKE H, HERMAN M. FENDL/MG-2. 0 and FENDL/MC-2. 0, the processed cross-section libraries for neutron-photon transport calculations, version 1 of February 1998, summary documentation report IAEA-NDS-176 Rev 0[R]. vienna: International Atomic Energy Agency, 1998.
- [5] 刘萍. 基于 ENDF-B-VI 的 WIMS-82 群截面库 [R]. 北京:中国核数据中心,2003.
- [6] 黄锦华,张国书,阳彦鑫. 快热耦合系统的中子学计算工具——采用确定论方法[J]. 原子能科学技术, 2006, 40(2):186-188.
HUANG Jinhua, ZHANG Guoshu, YANG Yanxin. Deterministic neutronics calculation method for fast/thermal-combined system [J]. Atomic Energy Science and Technology, 2006, 40(2):186-188(in Chinese).
- [7] BRIESMEISTER JUDITH F. MCNP—A general Monte-Carlo N-particle transport code [Z]. New Mexico: Los Alamos National Laboratory, 2000.